浮　根　式　水　耕

許森森*・沈再發*

一、前　言

水耕栽培在世界先進國家如日本、英國、荷蘭已達到經濟栽培生產之階段，本省目前仍在研究發展初期，對其在經營上之優缺點應有所了解，其優點爲：㈠可連作，並可避免土壤病蟲害及連作障礙，對某種高經濟價値作物可行周年連作生產。㈡肥效率可高達90％以上，且作物養分吸收均衡，生育迅速而豐收，並可提高品質。㈢管理可行自動化，可節省勞動力，擴大經營面積；栽培過程之播種、定植、除草、收穫等工作可簡化而節省勞力，施肥、灌溉等管理易於自動化，可擴大栽培規模，且可解決農村勞力老化之問題。其缺點爲：㈠投資的設施費用較傳統栽培之設施費用高。㈡栽培管理需具備較新及高深的知識與技術，如培養液管理不當時，其濃度與酸鹼度等變化劇烈而不易修正，易導致栽培失敗。㈢作物根部生長於培養液中，其緩衝能力較土壤爲小，且易受液溫和溶氧之影響，如一旦病原菌入侵，則蔓延迅速，受害嚴重。㈣可供經濟栽培之作物種類有限。

水耕栽培爲作物生育所需之養分，以培養液形態供給作物吸收之栽培方式。依其設施構造大致可分爲兩類，一類爲根漂浮浸在培養液中，強制循環或流動培養液，使溶氧量增加，如迴流式、等量交換式。另一類爲根之上半部在潮溼空氣中，呈海綿墊狀發育，根之下半部在培養液中吸收養分及水分，如養液薄膜法（NFT）、浮根式水耕、岩綿水耕等。上述方法之差異乃在供氧方式的不同，供氧之方式有利用空氣壓縮機強制通氣或空氣混入器通氣、循環式或流動式、液面昇降法及噴霧式等等。採用一種或兩種以上方法，可達到增加培養液中溶氧之目的，但溫度與飽和溶氧量之間有密切關係，液溫愈高時，飽和溶氧量愈低。表一所示液溫爲20 °C時，飽和溶氧量爲6.42毫升／公升（9.2 ppm），30 °C時則降爲5.34毫升／公升（7.6 ppm）。

表一　液溫與飽和溶氧量之關係

溫度（0℃）	溶氧量	
	mℓ/ℓ	ppm
1	9.96	14.2
5	8.96	12.8
10	7.91	11.3
15	7.11	10.2
20	6.42	9.2
25	5.86	8.4
30	5.34	7.6
35	4.83	6.7

（1 mℓ≒1.4 ppm，1 ppm≒0.7 mℓ/ℓ）

* 台灣省農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所

作物之根對氧氣的消耗量視作物種類不同而異外，亦隨溫度之升高而增加（表二）。以胡瓜爲例，根重一公克每小時在100毫升溶液中，溫度20 °C 時，需消耗0.18 毫升氧，溫度升爲30 °C 時，則需0.41 毫升，增加約2.5倍。同時，耗氧量亦隨作物生育期而有所差異，洋香瓜於液溫23 °C 時，每株每日溶氧消耗量在開花期爲170.2毫升（吸液量爲600毫升），網狀期增爲516毫升（吸液量爲990毫升），收穫期減爲422毫升（吸液量爲810毫升），其溶氧消耗量約爲吸液量之一半，而以網狀期消耗量最大（表三）。

表二　數種蔬菜根之氧消耗量與液溫關係

蔬菜別	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
胡瓜	0.09	0.18	0.29	0.41	0.43
番茄	0.16	0.22	0.26	0.39	0.40
茄子	0.08	0.14	0.22	0.29	0.34
甜椒	0.12	0.19	0.26	0.38	0.42
草莓	0.26	0.30	0.36	0.41	0.51

註：O_2 ml／根重1公克／小時　100 ml水中

表三　水耕洋香瓜根圈之溶氧消耗量與吸液量（山崎 1973）

生育階段		根圈溶氧消耗量		吸液量
		毫升／每株每時	毫升／每株每日	毫升／每株每日
開花期	晝	8.8	170.2	600
	夜	5.4		
網狀期	晝	28.0	516.0	990
	夜	15.0		
收穫期	晝	20.0	422.0	810
	夜	12.0		

鳳山熱帶園藝試驗分所進行水耕試驗，調查設施內周年溫度變化情形如表四，年液溫平均最高爲26.2 °C，最低爲24.6 °C，其中6月至9月之最高平均皆超過30 °C。溫室內溫度（室溫）最高平均爲31.8 °C，最低爲22.8 °C，且其最高平均溫除11～2月以外，均超過30 °C以上，6～8月間甚至高達37 °C以上。因此，在夏季高液溫狀態下，如使用空氣混入器以增加溶氧，其效果有限。如以降溫方式進行，則所消耗的能源投資太貴，然而在溶氧不足的狀態下，根易褐化腐敗，故本省在夏季栽培須克服此限制因素。基於此，鳳山園試分所致力研究開發出蔬菜之浮根式水耕法，本法乃是濕氣中根的栽培方法，在濕氣中的根其主側根的伸長較短，而形成較多的鬚根及根毛，因在濕氣中生長，氧氣的供應不虞匱乏，是水耕中供氧的最佳方法。浮根式水耕之特點爲：㈠用滲透方式供給養液，不必用馬達耗費電力。㈡不需設置養液槽，以貯放培養液供

循環用。㈢夏季高溫期根部供氧量充足，根系發育好，生育迅速。㈣種子可直播，節省移植步驟

表四　鳳山熱帶園藝試驗分所水耕溫室之液溫、室溫與氣溫之變化（°C）

月份		1984					1985							平均
		8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	
液溫	最高	31.0	30.4	28.6	25.6	20.8	18.9	20.5	22.4	25.9	29.3	29.8	31.0	26.2
	最低	29.6	28.8	27.6	24.9	19.8	17.9	19.5	20.7	24.3	27.6	28.2	29.3	24.6
室溫	最高	33.9	34.4	31.9	26.8	22.5	22.9	30.4	31.0	33.9	37.7	36.8	38.3	31.8
	最低	27.0	27.4	24.7	22.3	19.4	16.8	17.6	17.3	21.5	26.3	26.2	27.1	22.8
氣溫	最高	31.5	32.4	30.9	29.5	25.2	24.4	25.9	26.3	28.5	31.7	31.1	32.2	29.1
	最低	24.5	23.9	22.5	20.6	17.9	13.4	16.2	15.5	21.0	23.8	24.9	24.8	20.8

二、硬體設備

一、水耕溫網室：

以高隧道式溫網室爲主，其骨架多爲¾″ φ 鍍鋅鐵管，屋頂覆蓋 0.2 mm之PVC透明塑膠布，四周圍以 24 目之白色尼龍紗網，以利通風及防蟲。另有些溫網室以太子樓式搭建，或在兩側加上活動捲軸式塑膠布，平時捲起塑膠布以通風，在下雨及冬季寒流來襲時，將塑膠捲下以防雨及保溫。在夏季高溫期可覆蓋黑色遮光網以遮蔭、降溫。

二、水耕栽培床：

可用硬質塑膠板、FRP 板、保利龍板、木板、鍍鋅管等材料做成。如用木板、鍍鋅管或保利龍板製成時，爲防止水滲漏，在床內部須舖一層塑膠布（如紅泥塑膠布、黑色 PE 塑膠布等）。栽培床之寬度爲30 公分或60～90公分，長度可達20～30公尺，唯需注意栽培床儘可能以1／200 坡度設置。高度 10～20 公分，床高度較高時，所能容納之培養液量較多，對於培養液之補充不必多費神，而葉菜類生長期短，所消耗之養液量不多，較淺的栽培床即可。爲便於更換培養液，在栽培床內需設一排水口，同時在進水口可裝置浮球水位開關控制水位，使培養液之補充達到自動化。

三、根之浮媒體：

1. 保利龍板與不織布（Spunbonded Polyester）—於栽培床內注入培養液後，以保利龍板1.0～3.0 公分厚放於培養液上。該保利龍板之寬度爲30～45 公分，使其上面所舖設之不織布的滲水量可足夠供根的吸收之用。不織布需要吸水力良好而厚度均勻在0.2 ～0.5 公分之間，舖設時宜在保利龍板的兩邊及中間處，使不織布垂下培養液中至少 3 公分以上深度，以吸水滲透到保利龍板上。
2. 尼龍布（雨傘布）—以0.1 毫米厚的尼龍布（190 線／ cm^2）如雨傘布（不塗油質防水者）覆蓋於不織布上，因此層尼龍布很容易透水而形成潮濕狀態，作物根系於尼龍布上生長既有充足的養分及水分，又有充分的空氣，可形成良好的根群（如圖 1）。

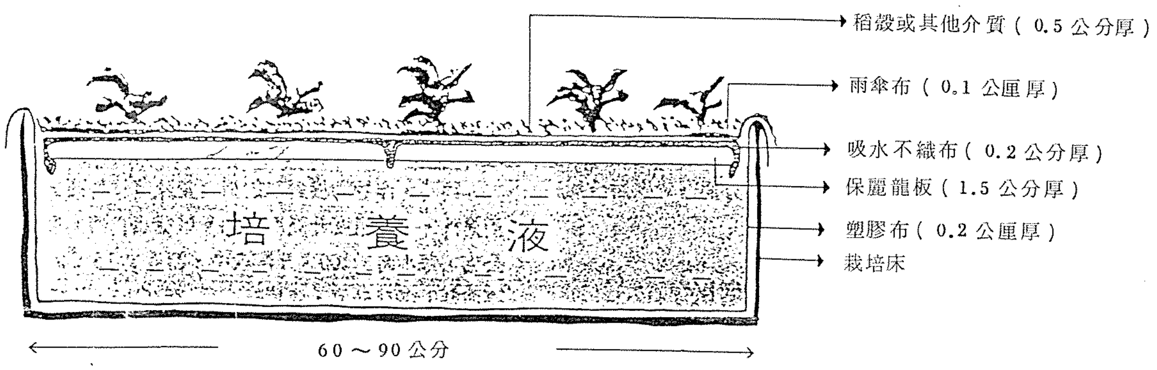

圖1　浮根式水耕葉菜類栽培床縱剖面圖

四、養液槽：

以鋼骨水泥製或黑色PE硬質塑膠桶，其容量視栽培面積而定。若使用肥料抽引泵浦，則不需養液槽，另設置原液桶即可。

五、抽水馬達或肥料抽引泵浦：

利用抽水馬達配以PVC管連接抽水馬達與栽培床，並在栽培床內裝置水位控制開關，使培養液自動補充。或利用肥料抽引泵浦，抽取定量的原液（A液與B液），再與水於管內混合均勻，以PVC管配送至栽培床。

三、栽培管理

一、播種及育苗：

葉菜類不需先行育苗，而是直接播種於濕透的尼龍布上，撒播或點播均可。蕹菜之種子體積較大，須先使種子充分吸水膨大後再播種。洋香瓜則需先經催芽及浸種處理，將種子浸入稀釋2,000倍之億力地溶液中30分鐘，取出以自來水洗淨，置於發芽皿中，移至恆溫箱內，於30℃恆溫、黑暗下催芽，俟種子胚根伸長0.5～1.0公分時，再夾於浸濕之海綿塊（4×4×4公分）內，排置於育苗盤中，並由盤緣加入半量培養液，將海綿輕拍，濕潤均勻後，移到育苗室接受日照。育苗所需時間約為10～14天，視季節而異。

二、定質及覆蓋介質：

洋香瓜幼苗生長至二片本葉完全展開時，可定植於栽培床。在播種（葉菜類）或定植（洋香瓜）後，選擇適合之介質來覆蓋，此介質包括蛭石、真珠石、石礫、木屑、稻殼或炭化稻殼、岩綿、人造水苔、椰子殼等等，而介質本身需保持適當之pH值，並不會吸收和釋放離子者，以免影響培養液組成，其覆蓋厚度約為0.5～1.5公分左右。在覆蓋後充分澆水，使介質保持濕潤狀態。

三、培養液配製：

培養液之組成與濃度依作物種類、作物生育期、栽培方式及栽培環境條件如光線、溫度等而有所不同，其培養液配方如表五之作物別肥料塩和表六之微量要素。各組成分化學藥品可至當地化工原料行購置，大量元素選擇工業級及食品級，微量元素以分析級試藥最好，並需了解其有效成分（純度）及不純物質之種類與含量。

表五　浮根式水耕培養液配方與成分濃度　（1,000公升）

作物別	肥料塩類（大量元素）（公克）					成分濃度（mℓ/ℓ）					電導度
	硝酸鉀	硝酸鈣	硫酸鎂	第一磷酸銨	EDTA鐵	NO_3-N	K	Ca	P	Mg	mS/cm
葉萵苣	460	300	125	60	20	7	4.5	2.5	1.5	1	1.2～1.5
蕹菜	707	355	250	150	20	10	7	3	4	2	1.5～1.7
芹菜	505	355	250	115	20	8	5	3	3	2	1.3～1.5
洋香瓜	610	830	380	155	20	13	6	7	4	3	2.0

表六　微量元素之配方　（10公升）

塩類	重量（公克）
硼酸	300
硫酸錳	200
硫酸鋅	22
硫酸銅	5
鉬酸鈉	2
硫酸	10 mℓ

※每1,000公升培養液中，加入上述微量元素100 mℓ。

將適合於水耕的自來水、地下水、泉水或雨水等（pH 值在中性）依所需成分配製培養液，調配方法以洋香瓜為例，每公噸（1,000公升）水中，加入秤好量之硝酸鉀、硝酸鈣、第一磷酸銨、硫酸鎂和EDTA鐵，分別為610、830、155、380和 20 公克，另加上配製好的微量元素100 cc，注意將各單項肥料塩類分別充分溶解後，再逐一加入，不可混合一起加入，並攪拌均勻，最後定量至1 公噸。此培養液以電導度計（EC meter）測定時應為2.0m mho（培養液濃度單位），酸鹼度計（pH meter）測定約為pH 6.5。

四、消毒：

在一作或數次採收後至下一作栽培前，須將溫網室全部消毒。栽培床之消毒方法為將培養液排放後，取出尼龍布、不織布及保利龍板洗淨，並以清水冲洗栽培床後，直接曝晒於太陽光下，在廢耕後立即以可濕性硫黃粉600倍全面噴灑（包括栽培床及栽培床架下方和地面），再以清水冲洗一次栽培床，即可定植。

五、病蟲害：

水耕栽培過程中仍會遭受病蟲害侵襲，因此須特別注意溫網室之管理，減少非工作人員不必要之出入。葉菜類與果菜類應分別於不同溫網室中栽培，葉菜類若發現害蟲時，則以手捕捉除去之，避免噴施農藥。洋香瓜則因生育期長達3 個月以上，須以藥劑適當防治紅蜘蛛、薊馬、蚜蟲及白粉病、蔓枯病等，而毒素病之發生原因，可能為種子帶毒或媒介昆蟲（如蚜蟲）傳播，一旦發現病株，須立即拔除，並焚燬，以免迅速蔓延，造成鉅大損失。同時為防患未然，應在雨季或颱風過後，對溫網室四周環境徹底消毒。

六、培養液管理：

在栽培過程中，作物的根會自培養液中吸收養分，同時亦會分泌出某些代謝物質，而使培養液之組成及濃度與酸鹼度發生變化，故每星期至少須測定一次培養液之pH 值和 EC值，若pH 值不在5 ～ 7 之間，或EC 值偏離原先濃度太多時，則須加以調整。如 pH 值太高時，每噸培養液可添加95 % 濃硫酸 8 cc.，調低 1 個pH 值；如 pH 值太低時，則須加入氫氧化鈉 6 公克，以調升一個 pH 值。而若 EC太高時，則可排掉部分培養液，再添加清水冲淡之；若EC太低時，則加入標準配方之培養液。若 pH 值與 EC 值變化太劇烈，無法修正時，則需更換培養液。洋香瓜一作後要更新培養液，葉菜類若培養液 EC 值及 pH 值變化不大，可連續使用而不須更新培養液。

作物的根需在無光條件下生長，有光時藻類容易繁殖。藻類會吸取培養液中的養分，同時使培養液之 pH 值上升，且發生惡臭，夜間又會吸收氧氣，妨礙作物生育，爲防止藻類之繁衍，需將栽培床做到不透光之程度，可用不透明的材料覆蓋於栽培床上。

七、生育管理：

1. 葉菜類如以撒播方式栽培，則需於幼苗長出後進行間拔及疏苗工作，使作物有足夠之生長空間，避免造成徒長。若以點播栽培，遇缺株時則加以補植。
2. 洋香瓜爲蔓性植物，在溫室內以立式栽培，利用栽培床兩側立支柱（或栽培架），以支持植物體，並適時引蔓，使葉片得到充足的日照。同時，以單蔓整枝方式除去所有側芽，於第十節至第十四節間留結果蔓，俟雌花開花後授粉，幼果着生後，留取果型良好者一顆，行單果生產，並在確定受精後，除去頂芽（梢），使葉片光合作用所製造之養分運送到果實，以維持果實品質良好。

八、採收

自播種至採收所需時間，依作物種類及栽培季節而有不同，夏季生育快，冬季生育慢，葉萵苣需 30～40 天可採收；蕹菜則以連續採收方式，夏季約在播種後 14 ～ 18 日即可開始採收，以後每隔 10 日可再採收，約可連續採收10 次，每分地收穫量約爲 2,500 公斤。洋香瓜由定植至採收所需時間視品種及栽培季節而異，夏作約爲 60 ～ 75 天，秋冬作及春作則需70 ～ 90 天，每年可栽培 4 ～ 5 作，每分地產量約爲 2,400 個果實。

四、栽培效益分析

經營 1,000 m^2 （一分地）之浮根式水耕栽培所需之費用概算如表七。其中溫網室設施及水耕設施共需新台幣 550,500 元，溫網室爲簡易塑膠布室（太子樓式），兩側僅圍以 24 目白色尼龍紗網，如採用捲軸式塑膠布，則設施成本將會增加。

以蕹菜（空心菜）每 1,000 m^2 之栽培經營爲例，每次平均收穫量爲 2,500 公斤，每年可採收 14 次，若以每公斤 35 元之產地價格（每 300 公克平均售價 11 元）計算，則粗收益爲 1,225,000元，扣除種子費、養液費、稻殼、水費、電費、消毒藥劑費、工資、硬體設備折舊費、包裝材料費、包裝耗損費、運費等合計 773,800 元，其淨所得爲 451,200 元，所得率爲 36.83 %。至於硬體設備折舊費之估算，溫網室骨架以五年平均分攤，屋頂塑膠布和尼龍布、不織布、保利龍板以一年更新一次爲準。

表七　浮根式水耕之成本及收益估算（1,000 m^2，蕹菜）

項　　目	金　額（元）
一硬體設備	
簡易塑膠布溫網室（太子樓式）	284,000
栽培床材料：床框（鍍鋅管）	27,000
紅泥塑膠布	104,400
塑膠夾等	24,400
保利龍板	19,200
不織布	31,500
尼龍布	15,000
抽水馬達	5,000
養液槽	40,000
合　計	550,500
二消耗性材料及支出	
種子費	2,000
養液費	24,000
稻　殼	4,000
水　費	9,600
電　費	6,000
消毒用藥劑費	6,000
工資（3人）	10,000 × 12 月× 3人= 360,000
硬體設備折舊費[1]	198,200
包裝材料費	150,000
包裝損耗費	112,000
運　費	60,000
合　計	931,800
三收　入	
蕹菜年收穫量	2,500公斤／次 × 14 次= 35,000公斤
單價（300公克小包裝，單價 9－11元）[2]	30－35 元／公斤
粗收益	1,050.000 － 1,225,000
淨所得	118,200 － 293,200
所得率	11.26 － 23.93

註：1. 硬體設備折舊費估算，溫網室骨架以五年分攤，屋頂塑膠布和尼龍布、不織布、保利龍板一年更新一次。

2. 單價爲生產水耕蔬菜農民之產地價格。

五、結　　語

養液栽培在台灣之研究發展僅短短數年，却在各試驗研究場所之努力專研下，開發出適合本省氣候條件之水耕方法，雖然這些方法仍有待改進，但有些農民已率先利用此項農業新技術生產短期性葉菜類。另在農林廳補助下，在本省北部、中部及南部各選擇一處（約一分地）進行浮根式水耕栽培之試作觀察，以評估其實際經濟效益及未來發展潛力。相信在政府農政單位積極倡導及工、商業界之配合下，本省養液栽培之前途是指日可待的。

討　　論

鄭貴成（屏東縣）問：

水耕栽培培養液pH過高時易缺鐵應如何補救？

許淼淼（鳳山熱帶園藝試驗分所）答：

補救之法，葉菜類若再幾天即可採收，可直接噴施EDTA-Fe 或硫酸鐵即可補救。缺鐵時植株品質變化很大，炒後容易變黑，且吃起來會有酸酸的感覺。補救後的養液，需用稀的硫酸或塩酸加以調整，使其pH 介於5.5～6.5之間最爲理想，或是5～7之間亦可，再不行，只有換養液了。

學員問：

栽培床高度爲何？需要很多培養液嗎？

許淼淼（鳳山熱帶園藝試驗分所）答：

一般栽培床10～20公分皆可，端視需要而定。至於養液量的多寡，最好是一作恰好用完，如此較不浪費。然而季節會影響養液的供給量，如秋冬季因蒸發散較少，所需養液就少，另外作物的種類亦會影響，葉面積較大者蒸散較多，葉面積小，蒸散就少。這些都會影響養液需要量的多寡。再者養液愈多，根溫的變化較緩和，不像NFT法易受外界溫度的影響，但因養液多，所需的成本相對提高。綜合以上的利弊做取決，再依個人所需決定液槽的高度。

楊清光（台南縣）問：

養液發生青苔如何處理預防？

許淼淼（鳳山熱帶園藝試驗分所）答：

栽培床如能完全密閉，就可防止青苔的產生，但因現今的栽培方式無法密閉，故只能將浮媒體儘量裁得符合栽培床的寬度，如此即可減少青苔的發生。再者應可用肥料要素來控制。氨態氮素太高容易長青苔，反之硝酸態氮或尿素卻有抑制作用，但有時肥料的更換不僅抑制青苔，甚至連植株亦受其抑制生長不好。所以現在我們將氨態氮保持1個me左右，其餘以硝酸態氮代替，如此可控制青苔不致大量繁殖且又不影響植株的生長。

照片 1.浮根式水耕作物的根生長在濕氣中，形成許多鬚根及根毛，氧氣供應充足。

照片 2.莧菜利用浮根式水耕栽培，生育迅速，品質佳。

照片 3.以浮根式水耕栽培，蕹菜之根群發育良好。

照片 4.洋香瓜之水耕爲立式栽培，以塑膠繩牽引瓜蔓。

照片 5.洋香瓜水耕已可生產糖度15～16度，果重平均1.5公斤之果實。

照片 6.中部地區浮根式水耕試作，蕹菜之栽培情形。